

イチゴ炭疽病抵抗性で早生や高果実糖度の個体を高率に作出する自殖第一代の交配母本の育成

内村要介*・林田達也

炭疽病抵抗性、早生および果実糖度が高い新品種を効率的に育成する目的で自殖により交配母本の改良を行いその交配母本の有用性を検討した。

炭疽病抵抗性品種や系統の自殖第一代の実生集団に炭疽病菌を噴霧接種し、生存した集団の中で開花日が早く頂花房第二果の果実糖度が高かった「サンチーゴ S1-2」および「1-17-12」を得た。

これら 2 系統を炭疽病罹病性品種「福岡 S6 号」に交配した実生集団の炭疽病菌噴霧接種後の生存株率は、炭疽病抵抗性品種「サンチーゴ」や「いちご中間母本農 2 号」を交配した場合に比べて有意に高かった。また、これら 2 系統を「福岡 S6 号」に交配した実生集団の炭疽病菌接種後の生存株集団は、「サンチーゴ」や「いちご中間母本農 2 号」を交配した場合に比べて、「福岡 S6 号」より早生や果実糖度が高い個体が多かった。

これらの結果、炭疽病抵抗性品種または系統の自殖第一代の実生集団から炭疽病抵抗性、早生性および高果実糖度で選抜した個体を交配母本として用いることで、炭疽病抵抗性で早生性や高果実糖度を持つ個体を高率に育成できることを示した。

[キーワード：イチゴ、自殖、炭疽病抵抗性、早生、糖度]

Improved S₁ Strawberry Parents for Breeding Seedlings with Anthracnose Resistance, Early Flowering, and High Fruit Sugar Contents. UCHIMURA Yosuke, Tatsuya HAYASHIDA (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. and Forest. Res. Cent.* 2:41-45 (2015)

To breed efficiently new strawberry cultivars with anthracnose resistance, early flowering, and high fruit sugar contents, we improved the parents by self-fertilization. Anthracnose-resistant cultivars or lines were selfed, and then the progeny (the S₁ population) were sprayed with a conidial suspension of anthracnose fungi. The surviving progeny were evaluated to determine flowering time and sugar contents. The parents 'Sanchiigo S1-2' (S₁) and '1-17-12' (S₁) were developed from the surviving progeny that showed early flowering and high fruit sugar contents. When these parents were crossed with the susceptible variety 'Fukuoka S6', the proportions of anthracnose-resistant seedlings in the populations were higher than that in the population derived from the cross between the existing anthracnose-resistant cultivar 'Sanchiigo' and 'Fukuoka S6', and that in the population derived from the cross between the existing anthracnose-resistant cultivar 'Strawberry Parental Line No. 2' and 'Fukuoka S6'. Furthermore, among the seedlings that survived spraying with a conidial suspension of anthracnose fungi, there were higher frequencies of early flowering and high fruit sugar contents in the seedlings derived from the crosses between the S₁ parents and 'Fukuoka S6' than in those derived from crosses between the existing anthracnose-resistant cultivars and 'Fukuoka S6'. These results demonstrate that parents selected from S₁ populations with anthracnose resistance, early flowering, and high fruit sugar contents are useful breeding materials to produce strawberry cultivars with those characteristics.

[Key words: strawberry, self-fertilization, Anthracnose resistance, early flowering, fruit sugar contents]

緒言

イチゴの品種改良は多大な時間と労力を要している。その原因として、異質（部分同質）八倍体のため遺伝様式が複雑で重要な農業形質の遺伝情報が少ないこと、自殖は自殖弱性が農業形質に現れることからほとんど行われず、育成された品種は栄養繁殖により維持されているため、遺伝的なヘテロ性が高い（森下 1994, 望月 2000）ことがあげられる。優良な遺伝子型の個体を得るためには、遺伝子型が固定された自殖性作物に比べて、大きな交雑集団が必要となる（小谷 1970, 望月 2000）。

イチゴ育種の効率を向上する方法の一つとして、既存のヘテロ性が高い育種素材の自殖を行い、遺伝子のホモ

*連絡責任者（野菜部：uchimura@farc.pref.fukuoka.jp）

化を図り劣悪・障害遺伝子の除去、劣性および不完全優性遺伝子支配形質の固定を行って改良した交配母本の利用がある（森下 1994, 望月 2000）。たとえば、1 回の自殖を行い果実の色沢不良や果形の不揃いを改善した交配親から「麗紅」が育成されている。このとき 1 回の自殖では弱性株は少なく、自殖により育種素材の優良形質を引き出すことが期待できると成川（1981）は報告している。また、自殖によりうどんこ病抵抗性形質の固定を行った交配親からは「千葉 S4 号」が育成され（前田ら 2014）、炭疽病抵抗性遺伝子の集積の際に自殖系統が用いられ炭疽病抵抗性品種「サンチーゴ」が育成されている（森 2000）。

一方、自殖第一代における自殖弱性の発現度と各形質

受付 2015 年 8 月 3 日；受理 2015 年 11 月 18 日

の広義の遺伝力、自殖第二代の系統間交配によるヘテロシスについて詳細な研究が実施されている(森下 1994)。その結果、糖度、平均一果重、果皮色、光沢、硬度、香りについては、自殖第一代の個体には自殖弱性がほとんど現れず親を凌ぐ個体が得られること、自殖第二代の系統間交配の収量は品種間交配と比べて明らかに高く、収量性を大幅に改良できる可能性が明らかにされている。このように品種の育成において既存の品種同士の交雑では得難い重要形質の改良に自殖系統を活用したという多くの報告がある。しかしながら、自殖系統を交配母本に用いた育種が、既存品種を用いた育種と比較して、育種目標以上の優れた形質を有する個体の出現率をどの程度向上するのか具体的データに基づいた検討は十分に行われていない。

本県の主力品種「福岡 S6 号」は、中晩生で果実品質は市場から高い評価を得ているものの、近年産地間競争が激しくなっていることから、需要が高い年内収量の向上や果実品質のさらなる改良および炭疽病抵抗性の強化による生産安定が強く求められており、新品種の育成が急務となっている。

そこで、本研究では早生で炭疽病に強く、果実糖度が高い品種の効率的な育成を実現するために、自殖第一代の実生集団からこれらの形質が優れる個体を選抜して交配母本を育成した。これらの自殖第一代の交配母本を既存の品種に交配し、交配実生集団において形質が優れる個体の出現率が、品種間交配に比べて向上するか検討を行った。それらの結果から、自殖により改良を行った自殖第一代の交配母本が有用であることを明らかにした。

材料および方法

1. 炭疽病抵抗性、早生性および果実糖度が優れた自殖第一代の交配母本の育成

2013 年 2 月に炭疽病抵抗性の「サンチーゴ」と、「サンチーゴ」に「いちご中間母本農 2 号」(沖村ら 2004)を交配した F₁ 系統で早生性と炭疽病抵抗性を有する「1-17」を自殖し、自殖第一代の種子を採種した。これらを 2013 年 5 月 24 日に播種し、それぞれ 100 個体をビープット 4 枚に鉢上げして場内のハウスで底面吸水により育苗した。2006 年に広川のイチゴ圃場から分離した炭疽病菌 (*Glomerella cingulata*) を PDA 培地で前培養した。菌そう上に形成された分生胞子を 1×10⁵ 個/ml に調整し、2013 年 7 月 8 日と 17 日の 2 回噴霧接種した。接種後は、炭疽病が発生しやすい 25~30℃で植物体が長時間濡れた状態 (岡山・辻本 1994, 石川 2005) になるように管理を行った。菌接種後に生存した株を「サンチーゴ」は 5 株、「1-17」は 32 株を、それぞれ 2013 年 9 月に本圃に定植した。これらの生存株の中から早生で頂果房第二果の糖度が高かった「サンチーゴ S1-2」と「1-17-12」を選抜して交配母本とした。

2. 自殖第一代の交配母本と「福岡 S6 号」との交配交配実生集団における炭疽病菌接種後の生存率、生存集団における早生性や高果実糖度を持つ個体の出現率

選抜した自殖第一代の 2 系統「サンチーゴ S1-2」と「1-17-12」のランナー苗を 2014 年 5 月に増殖し、9 株の子苗を得た。そのうち、5 株は 7 月 1 日に前述と同様の方法で炭疽病菌を接種して抵抗性の評価を行い、4 株は本圃に 9 月 11 日定植して開花日、頂果房第二果の糖度を調査した。炭疽病抵抗性の強さは 1(弱)~10(強)の抵抗性指数で表し、接種日 1 週間後までに枯死した株を 1, 以下、2 週間後枯死株を 2, 9 週間後枯死株を 9 で評価した。また、9 週間後まで生存した株を 10 で評価した。なお、すべて 5 株の平均値で表した。

さらに 2014 年 3 月にこれら 2 系統と炭疽病菌に罹病性の「福岡 S6 号」を交配して得られた種子を採集し、5 月 9 日に播種してそれぞれ 100 株の実生苗を育苗した。炭疽病菌の接種は前述と同様の方法で 7 月 1 日に実施した。生存株率は罹病性品種「さちのか」のランナー苗 5 株が全株枯死した翌日の 8 月 14 日に調査した。炭疽病菌接種後に生存した実生苗を 9 月 11 日に本圃に定植し、開花日と果実糖度を調査した。なお、開花日は頂花房頂花が開花した日、果実糖度は頂花房第二果の Brix を Brixmeter RA-410 (京都電子工業株式会社製) で測定した。

結果

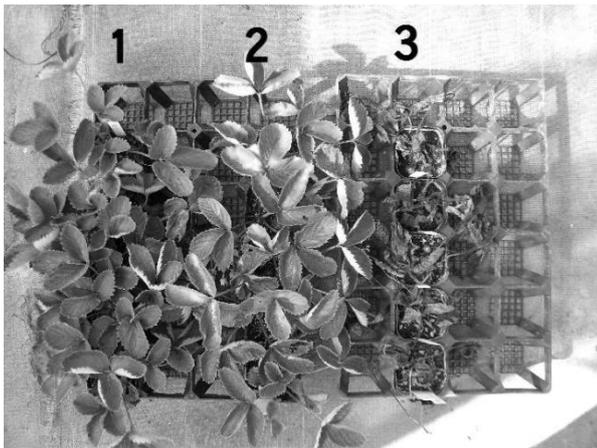
1. 選抜した自殖第一代の交配母本における炭疽病抵抗性、早生性および果実糖度

選抜した自殖第一代の交配母本「サンチーゴ S1-2」と、「1-17-12」から増殖したランナー株における炭疽病抵抗性、頂花房頂花開花日および頂果房第二果の糖度(Brix)を第 1 表と第 1 図に示した。「サンチーゴ S1-2」は、「サ

第 1 表 選抜した自殖第一代の交配母本から増殖したランナー株の炭疽病抵抗性、開花日および果実糖度 (Brix)

系統名	世代	炭疽病抵抗性指数 ²⁾	開花日	Brix
サンチーゴ S1-2	S ₁	10.0	11/ 3	10.9
1-17-12	F ₁ S ₁	8.3	10/23	11.2
サンチーゴ 22 ¹⁾	S ₄	10.0	11/ 3	8.2
サンチーゴ	-	10.0	11/ 3	12.5
中間母本農 2 号	-	7.3	3 /14	5.0
さちのか	-	4.8	-	-
福岡 S6 号	-	6.0	11/ 6	10.8

- 1) 「サンチーゴ 22」は、自殖と炭疽病抵抗性で早生個体の選抜を自殖第四代(S₄)まで繰り返し、炭疽病抵抗性を高度に固定した自殖系統(内村ら 2014)
- 2) 炭疽病菌接種日から 1 週間までに枯死した株を 1, 2 週間目に枯死した株を 2~ 9 週間目に枯死した株を 9, 9 週間後まで生存した株を 10 で評価, 5 株の平均値で表した



第1図 炭疽病抵抗性の比較

- 1) 1 ; サンチーゴ S1-2, 2 ; サンチーゴ 22, 3 ; 福岡 S6 号
 2) 炭疽病菌接種 88 日後の様子。福岡 S6 号は接種 57 日後に全株枯死した (2015 年)

ンチーゴ」に比べて、炭疽病抵抗性指数が最高評価の 10.0 と強かったが、果実糖度は 10.9% で 1.6% 低かった。なお、開花日は 11 月 3 日と同日であった。「1-17-12」は、「サンチーゴ」に比べて、炭疽病抵抗性指数が 8.3 と劣ったものの抵抗性品種「中間母本農 2 号」の 7.3 よりも優れた。開花日は 10 月 23 日で 10 日早く、果実糖度は 11.2% で 1.3% 低かった。

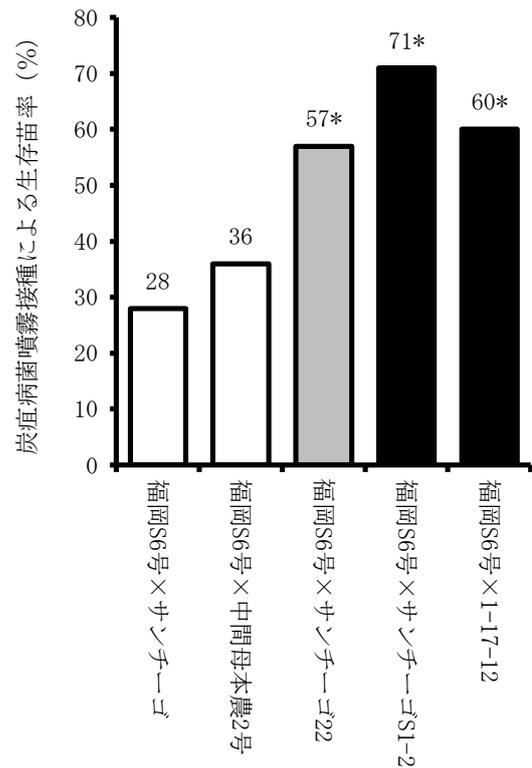
2. 選抜した自殖第一代の交配母本と炭疽病罹病性品種「福岡 S6 号」の交配実生集団における炭疽病菌噴霧接種後の生存株率

既存の炭疽病抵抗性品種「サンチーゴ」や「いちご中間母本農 2 号」と「福岡 S6 号」を交配して得られた実生集団に炭疽病菌を噴霧接種した後の生存株率は、それぞれ 28% と 36% であった (第 2 図)。それに対して、自殖第一代の交配母本「サンチーゴ S1-2」や「1-17-12」と「福岡 S6 号」を交配して得られた実生集団の生存株率は、それぞれ 71%、60% で有意に高かった (第 2 図)。また、炭疽病抵抗性を高度に固定し交配実生集団から高率に抵抗性個体が得られる自殖第四代の交配母本「サンチーゴ 22」(内村ら 2014) と「福岡 S6 号」を交配して得られた実生集団の生存株率 57% と比較しても、同等以上であった (第 2 図)。

3. 炭疽病菌噴霧接種後の生存集団において早生性と高果実糖度を持つ個体の出現率

上記の「サンチーゴ S1-2」, 「1-17-12」, 「サンチーゴ 22」, 「サンチーゴ」および「いちご中間母本農 2 号」と「福岡 S6 号」をそれぞれ交配して得られた実生集団の中で、炭疽病菌接種後の生存株を本圃に定植し、早生性や果実糖度が高い個体の出現率を調査した (第 3 図, 第 4 図, 第 2 表)。

これらの炭疽病菌接種後の生存集団 (以下, 生存集団)

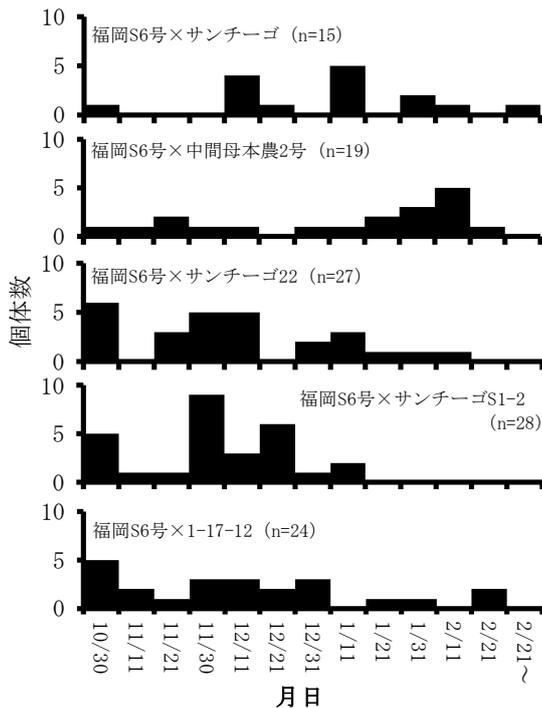


第2図 炭疽病抵抗性の自殖第一代の系統を炭疽病罹病性品種「福岡 S6 号」と交配した実生集団の炭疽病菌噴霧接種後の生存株率

- 1) * は生存株率が、福岡 S6 号×サンチーゴに比べて 5% 水準で有意な差があることを示す (Turkey の検定)

における開花日の分布は、既存品種の「サンチーゴ」や「いちご中間母本農 2 号」を交配した生存集団に比べて、自殖実生集団から早生選抜を行って育成した「サンチーゴ S1-2」, 「1-17-12」および「サンチーゴ 22」を交配した生存集団の方が、11 月 30 日以前に開花する個体が明らかに多かった (第 3 図)。また、「サンチーゴ S1-2」を交配した生存集団においては、1 月 11 日以降に開花した個体は無く、集団の分散が小さかった。「福岡 S6 号」のランナー株の開花日 11 月 6 日より開花が早い個体の出現率をみると、「サンチーゴ S1-2」や「1-17-12」を交配した生存集団からは 7.0% と 10.0% で、既存品種の「サンチーゴ」や「いちご中間母本農 2 号」を交配した生存集団 (同 3.6% と 2.8%) と比較して高かった (第 2 表)。

生存集団における頂花房第二果の糖度の分布をみると、「サンチーゴ S1-2」や「1-17-12」を交配した生存集団は、食味が優れる目安となる糖度 (Brix) 8 以上 (飯野ら 1982) の個体の割合が多く (第 4 図), 生存集団の平均値はそれぞれ 10.6% と 9.7% で、既存品種の「サンチーゴ」や「いちご中間母本農 2 号」を交配した生存集団 (同 8.7% と 7.0%) と比較して高かった (第 2 表)。また、「福岡 S6 号」より頂花房第二果の糖度が高い個体

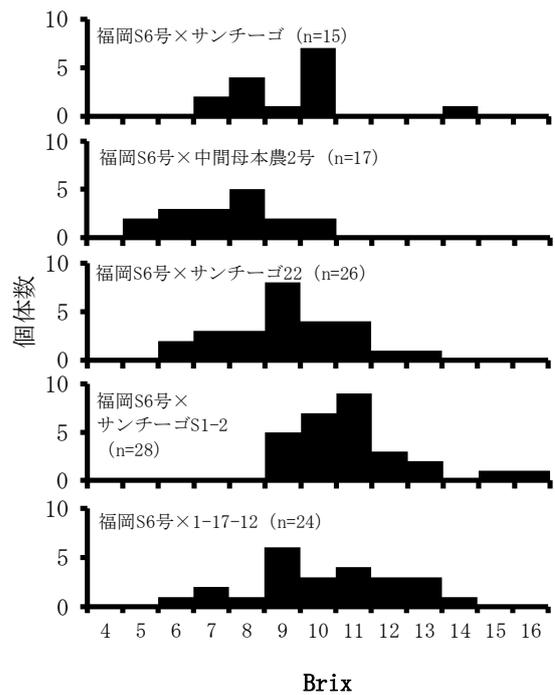


第3図 炭疽病菌噴霧接種で生存した実生集団の開花日の分布

数と出現率は、「サンチーゴ」を交配した生存集団では 1 個体 (3.6%), 「いちご中間母本農 2 号」を交配した生存集団では 0%であったのに対して, 「サンチーゴ S1-2」を交配した生存集団では 9 個体 (12.7%), 「1-17-12」を交配した生存集団では 7 個体 (11.7%) と明らかに高かった。

考 察

イチゴ炭疽病抵抗性品種の育成は, 現状において交配実生集団における炭疽病抵抗性個体の出現率が低いため, 多くの交配を行い大量の個体を育成して選抜する必要がある。



第4図 炭疽病菌噴霧接種で生存した実生集団における頂花房第二果の糖度 (Brix) の分布

ある。大量個体を評価する方法としては, 初期世代の実生苗に炭疽病菌の胞子懸濁液を噴霧接種して生き残った株を選抜する実生幼苗スクリーニング法 (森 2003) が最も優れ, 本県でも一部実施している。しかし, この方法は選抜対象の実生苗に直接病原菌を接種するため, 隔離圃場が必要であり, 保菌した株はその後の品質や収量の評価に影響を及ぼす恐れがある。また, 罹病株が枯死して失われるため, DNA マーカー探索などの研究目的で使うことができない欠点が指摘されている (森 2003)。一方で, ランナー苗に炭疽病菌胞子懸濁液を噴霧接種する評価方法 (片山ら 2008) では, 増殖したランナー苗に炭疽病菌を接種する。品質や生産性の評価は別に増殖した

第2表 自殖系統を「福岡 S6 号」に交配した実生集団における炭疽病抵抗性, 早生性および高糖度 (Brix) 個体の出現率

交配組合せ (交配実生集団)	炭疽病菌 噴霧接種 による 生存株 (a)	炭疽病菌噴霧接種で生存した実生集団						2014年度 選抜株数 /100株	
		開花日	福岡S6号より 早生		Brix	福岡S6号より 高糖度 (Brix)			
			個体数 (b)	割合		個体数 (c)	割合		
品種間の 交配	福岡S6号×サンチーゴ	28	12/29 ± 30	1	3.6	8.7 ± 1.7	1	3.6	1
	福岡S6号×中間母本農2号	36	1 / 4 ± 37	1	2.8	7.0 ± 1.6	0	0.0	1
品種に 自殖系統 を交配	福岡S6号×サンチーゴ22	57 * ¹⁾	12/ 1 ± 31	7	12.3	8.7 ± 1.7	4	7.0	1
	福岡S6号×サンチーゴS1-2	71 *	11/27 ± 21	5	7.0	10.6 ± 1.7	9	12.7	1
	福岡S6号×1-17-12	60 *	12/ 6 ± 36	6	10.0	9.7 ± 2.1	7	11.7	7
	福岡S6号 (ランナー苗)	0	11/ 6			10.8			

1) *は「福岡 S6 号」×「サンチーゴ」の交配実生集団に比べて 5%水準で有意差があることを示す (Turkey の検定)

ランナー苗を用いることができるため病原菌の感染のリスクが無く隔離圃場を必要としない利点があるが、実生苗に比べて苗の増殖に多大な労力を要し炭疽病菌接種検定の際に広い隔離圃場が必要になる欠点がある。しかし、炭疽病抵抗性株の出現率を十分に高くできれば、他の形質で選抜を行って系統数を絞った後で炭疽病抵抗性を評価しても抵抗性品種を育成することが十分可能になるため、上記の評価方法や選抜順序の自由度が高まり、効率的な育種が実施できる。

本研究において、自殖第一代の実生集団から炭疽病抵抗性、早生性および頂花房第二果の果実糖度が優れた個体を選抜して交配母本に用いることにより、既存の品種を交配母本にした場合に比べて、交配実生集団において炭疽病に抵抗性で早生性または頂果房第二果の Brix (糖度) が優れる個体の出現率が向上することを明らかにした。

炭疽病抵抗性品種や系統の自殖第一代の実生集団の中には、既存の抵抗性品種に比べて抵抗性評価が同程度に優れた個体が認められた (第 1 表)。これらを「福岡 S6 号」に交配して得られた実生集団での生存株率は、既存の抵抗性品種を交配して得られた実生集団に比べて明らかに高く (第 1 図)、炭疽病抵抗性を高度に固定し、交配実生集団で高率に抵抗性個体が得られる自殖第四代の系統「サンチーゴ 22」(内村ら 2014) と交配して得られた実生集団と比べても同等以上に高かった。また、「サンチーゴ 22」は、自殖第四代までの育成に時間を要し、自殖弱勢により果実形質が劣る欠点があったが、本研究では、自殖第一代からの選抜により短期間で「サンチーゴ 22」と同等以上に炭疽病抵抗性評価が優れ、早生性では早生品種「サンチーゴ」と同等以上、頂果房第二果の Brix (糖度) が良食味の目安とされる 8%以上(飯野ら 1982) を有する系統を得ることができた (第 1 表)。短期間で育成ができ、その他の形質の自殖弱性を最小限にできる可能性がある点において自殖第一代の利用は極めて有効であると考えられる。果実糖度においては、雑種後代のほとんどが交配親の中間値になる (門馬・高田 1991) ため交配母本はできる限り高果実糖度であることが望ましい。本研究で育成した自殖第一代の交配母本を「福岡 S6 号」に交配して得られた実生集団においては、頂花房第二果の果実糖度が 8%以上、さらに交配親の「福岡 S6 号」より優れた個体も多く得られ、本県の新品種育成事業における育種目標の 9%以上の個体を多く得ることができた (第 4 図)。一方、本研究において、品種同士の交配による実生集団からは、炭疽病抵抗性で、「福岡 S6 号」より早生で、果実糖度が高い個体の出現率は極めて低かった (第 2 図, 第 3 図, 第 4 図, 第 2 表)。この結果は、既存品種を直接交配親に用いた育種のみでは十分な成果が期待できないという望月 (2000) の考察と一致した。交雑育種では交配組合せによって有望個体出現率が支配される。イチゴの育種の効率化において、交配母本の育成が極めて重要であるという多くの報告がある (小谷 1970, 森下 1994, 望月 2000)。本研究で育成し

た自殖第一代の 2 系統は、交配母本に用いることで炭疽病抵抗性、早生性および果実糖度について交配実生集団における有望個体の出現率が向上し、育種の効率化に有効であることを示した。自殖系統を用いた育種を行う場合、成川ら (1981) は、自殖により優良形質を失う危険性を考えてできるだけ多くの自殖実生を確保することが重要と報告している。今後新品種を計画的かつ効率的に育成するために、様々な形質が優れた自殖第一代の交配母本を多く作成し、蓄積を図る必要がある。

引用文献

- 飯野久栄・大和田隆夫・小沢百合子・山下市二 (1982) 果実類の糖および酸含量と嗜好に関する研究. 食総研報 40:71-77.
- 石川成寿 (2005) イチゴ炭疽病の病原菌, 生態ならびに環境に配慮した防除技術開発. 栃木県農試研報 54:1-187.
- 片山貴雄・末信真二・三井寿一・浜地勇次 (2008) 噴霧接種法を用いたイチゴ炭疽病抵抗性の評価方法. 福岡県農試研報 27:39-43.
- 門馬信二・高田勝也 (1991) イチゴ果実の糖度および酸度の遺伝. 園学雑 59:719-726.
- 小谷 晃 (1970) わが国におけるイチゴの育種の現状と今後の問題点 [1]. 農業および園芸 45:1187-1192.
- 前田 ふみ・深尾 聡・石川正美 (2014) イチゴ新品種「千葉 S 4 号」の育成とその特性. 千葉農林総研研報 6:79-89.
- 森 利樹・戸谷 孝・藤原孝之 (2000) 炭そ病抵抗性イチゴ新品種「サンチーゴ」の育成. 三重農技センター研報 27:27-36.
- 森 利樹 (2003) イチゴ炭疽病抵抗性の遺伝的特性と育種. 植物防疫 57:271-275.
- 森下昌三 (1994) イチゴの品質・収量に関する育種学的研究. 野菜茶試験報 A8: 1-53.
- 望月龍也 (2000) わが国におけるイチゴ育種研究の成果と展望. 育種学研究 2:155-163.
- 成川 昇 (1981) イチゴ新品種「麗紅」の育成経過と特性. 千葉県農試研報 22:45-55.
- 岡山健夫・辻本 昭 (1994) *Glomerella cingulata* (Stoneman) Spaulding et Schrenk によるイチゴ炭そ病の発生とその病原性. 日植病報 60:617-623.
- 沖村誠・野口裕司・望月龍也・曾根一純・北谷恵美 (2004) 炭疽病抵抗性の「いちご中間母本農 2 号」の育成とその特性. 園学研 3:257-260.
- 内村要介・片山貴雄・平島啓太 (2014) イチゴ炭疽病抵抗性自殖系統の育成および同系統を交配した後代集団における抵抗性個体出現率の向上効果. 福岡県農林試研報 1:17-21.